

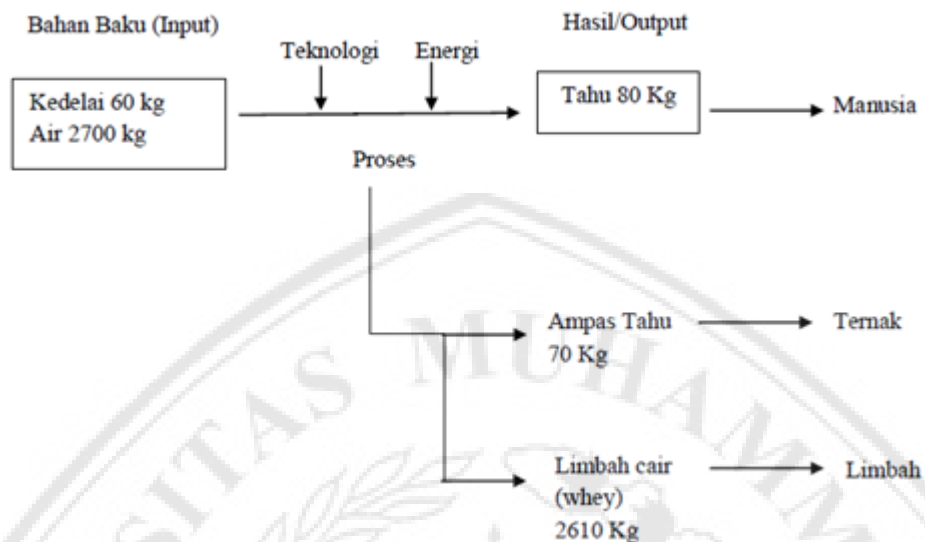
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pembuatan Tahu

Prinsip utama dari proses pembuatan tahu adalah penggumpalan (pengendapan) protein susu kedelai. Bahan yang digunakan adalah batu tahu (CaSO_4), asam cuka (CH_3COOH) dan MgSO_4 . Proses pembuatan tahu terdiri atas beberapa tahapan yaitu perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pencetakan / pengerasan dan pemotongan. Proses pembuatan tahu menghasilkan limbah padat berupa ampas tahu dan limbah cair. Ampas tahu dapat dikonversikan sebagai bahan makanan ternak dan ikan serta oncom sedangkan limbah cair kini telah dimanfaatkan sebagai biogas dan minuman bagi ternak. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih (*whey*), sedang sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pemasakan dan larutan bekas rendaman kedelai. Proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 1 sedangkan untuk diagram neraca proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 2.

Whey mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah cair ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga



Gambar 2.2 Neraca diagram pembuatan tahu

2.1.1 Cara Pemasakan Tahu

Pemasakan menggunakan uap air bertekanan langsung ke dalam filtrat. Pemasakan dilakukan selama 15 – 30 menit. Volume masakan yang dihasilkan 700 L. Setelah dilakukan pemasakan sampai suhu 70o C, ditambah dengan asam cuka/ jantu untuk mengendapkan dan menggumpalkan protein sehingga dapat memisahkan whey dengan gumpalan. Masakan yang telah digumpalkan dengan cara memasukkan saringan dari bambu lalu air yang ada didalam saringan diambil dengan gayung. Endapan yang ada tadi merupakan bahan utama untuk mencetak Tahu yang akan diakhir dengan proses pencetakan dan pengepresan.

2.1.2 Pemanfaatan Uap pada Produksi Tahu

Dalam perancangan *boiler* ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar *boiler* yang direncanakan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang dibutuhkan. Faktor yang mendasari pemilihan jenis *boiler* adalah sebagai berikut : kapasitas yang digunakan, kondisi uap yang dibutuhkan, bahan bakar yang dibutuhkan, dan konstruksi yang sederhana.

Proses perebusan bubur kedelai pada industri tahu umumnya masih dilakukan dengan alat konvensional. Proses perebusan dilakukan yaitu dengan menggunakan dandang yang dipanaskan di atas api dengan bahan bakar kayu. Proses perebusan kedelai juga dapat dilakukan dengan menggunakan pemanasan sistem uap. Proses perebusan ini dilakukan di sebuah bak berbentuk bundar yang dibuat dari semen atau dari logam yang di bagian bawahnya terdapat pemanas uap. Uap panas berasal dari ketel uap atau *boiler* yang dialirkan melalui pipa besi. Bahan bakar yang digunakan sebagai sumber panas adalah kayu bakar. Tujuan perebusan adalah untuk mendenaturasi protein dari kedelai sehingga protein mudah terkoagulasi saat penambahan bumbu. Titik akhir perebusan ditandai dengan timbulnya gelembung-gelembung panas dan mengentalnya larutan/bubur kedelai.

Kelebihan perebusan dengan menggunakan uap panas yang dihasilkan ketel uap antara lain adalah: meningkatkan efisiensi energi, meningkatkan kapasitas produksi, menghindari kerak yang terjadi di bak pemasak, dan menghindari bau sangit pada tahu (Rahayu, 2012: 27).

2.2 Boiler

Boiler adalah suatu perangkat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk memanaskan air sehingga menghasilkan steam (uap), panas dari hasil pembakaran bahan bakar dalam boiler akan ditransferkan ke media air yang mengalir di dalam pipa-pipa, saat suhu air telah mencapai temperatur tertentu maka akan terjadi penguapan. Sehingga dapat kita artikan bahwa boiler merupakan suatu alat yang digunakan untuk membuat steam, seperti yang kita ketahui uap dapat digunakan untuk menggerakkan turbin pada pembangkit listrik ataupun digunakan untuk memasak daun pada pembuatan minyak atsiri.

Boiler/ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap panas atau steam berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Uap panas atau steam pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga sistem boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-

temperatur rendah (low pressure/LP), dan tekanan temperatur tinggi (high pressure/HP), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (commercial and industrial boilers), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (power boilers). Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem boiler tersebut, yang memanfaatkan tekanan-temperatur tinggi untuk membangkitkan energi listrik, kemudian sisa steam dari turbin dengan keadaan tekanan-temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem steam. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

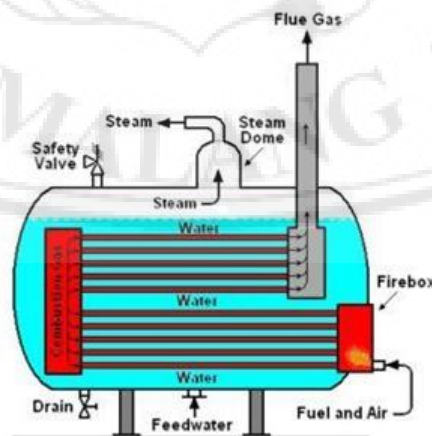
2.2.1 Klasifikasi Boiler

Secara garis besar boiler diklasifikasikan menjadi dua yaitu :

1. Ketel pipa api (fire tube boiler)

Pada boiler ini memiliki dua bagian didalamnya yaitu bagian tube yang merupakan tempat terjadinya pembakaran dan bagian barrel/tong yang berisi fluida. Tipe boiler pipa api ini memiliki karakteristik yaitu menghasilkan jumlah steam yang rendah serta kapasitas yang terbatas.

- Prinsip Kerjanya : Proses pengapian terjadi didalam pipa dan panas yang dihasilkan diantarkan langsung kedalam boiler yang berisi air.
- Kelebihan : Proses pemasangan cukup mudah dan tidak memerlukan pengaturan yang khusus, tidak membutuhkan area yang besar dan memiliki biaya yang murah.
- Kekurangan : Memiliki tempat pembakaran yang sulit dijangkau saat hendak dibersihkan, kapasitas steam yang rendah dan kurang efisien karena banyak kalor yang terbuang sia-sia.

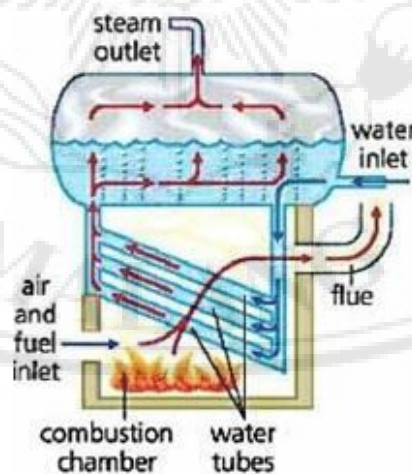


Gambar 2.3 Fire tube boiler

2. Ketel pipa air (water tube boiler)

Memiliki konstruksi yang hampir sama dengan jenis pipa api, jenis ini juga terdiri dari pipa dan barel, yang membedakan hanya sisi pipa yang diisi oleh air sedangkan sisi barrel merupakan tempat terjadinya pembakaran. Karakteristik pada jenis ini ialah menghasilkan jumlah steam yang relatif banyak.

- Prinsip Kerja: Proses pengapian terjadi pada sisi luar pipa, sehingga panas akan terserap oleh air yang mengalir di dalam pipa.
- Kelebihan: Memiliki kapasitas steam yang besar, nilai efisiensi relatif lebih tinggi dan tungku pembakaran mudah untuk dijangkau saat akan dibersihkan.
- Kekurangan: Biaya investasi awal cukup mahal, membutuhkan area yang luas dan membutuhkan komponen tambahan dalam hal penanganan air.



Gambar 2.4 *Water tube boiler*

2.2.2 Bagian-Bagian Boiler

1. Ruang Bakar (Furnace)

Terdiri dari 2 ruangan, yaitu:

- 1) Ruang pertama, berfungsi sebagai ruang pembakaran, dimana panas yang dihasilkan diterima langsung oleh pipa-pipa air yang berada di dalam ruang dapur tersebut, yang terdiri dari pipa-pipa air dari drum ke header samping kanan kiri.
- 2) Ruang kedua, merupakan ruang gas panas yang diterima dari hasil pembakaran dalam ruang pertama. Dalam ruang ini sebagian besar panas dari gas diterima oleh pipa-pipa air drum atas ke drum bawah.

2. Forced Draft Fan (Fd Fan)

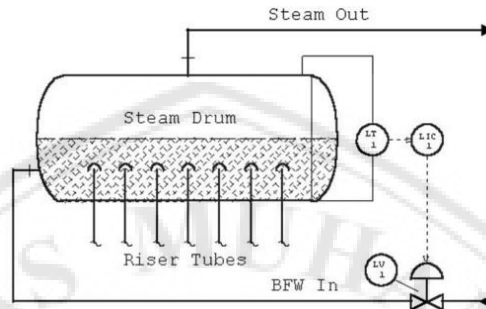
Dalam ruang pembakaran pertama, udara pembakaran ditiupkan oleh blower penghebus udara (forced draft fan) melalui kisi-kisi bagian bawah dapur (fire grates/under roaster).



Gambar 2.5 Fd Fan

3. Drum Atas (Steam Drum)

Drum atas berfungsi sebagai tempat pembentukan uap.



Gambar 2.6 Steam drum

4. Pipa Uap Pemanas Lanjut (Superheater Pipe)

Uap hasil penguapan di dalam drum atas untuk sebagian turbin belum dapat dipergunakan, untuk itu harus dilakukan pemanasan uap lebih lanjut melalui pipa superheater sehingga uap benar-benar kering dengan suhu 260-280°C. Superheater pipe ini dipasang di dalam ruang bakar kedua.

5. Drum Bawah (Mud Drum)

Drum bawah berfungsi sebagai tempat pemanasan air yang didalamnya dipasang plat-plat pengumpul endapan untuk memudahkan pembuangan keluar (blow down).



Gambar 2.7 Mud drum

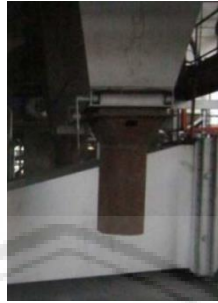
6. Pipa-Pipa Air (Header)

Pipa-pipa air ini berfungsi sebagai tempat pemanasan air yang dibuat sebanyak mungkin, sehingga penyerapan panas lebih merata dengan efisiensi tinggi. Pipa-pipa air ini terbagi dalam :

- 1) pipa air yang menghubungkan drum atas dengan header muka/belakang.
- 2) pipa air yang menghubungkan drum dengan header samping kanan/samping kiri.
- 3) pipa air yang menghubungkan drum atas dengan drum bawah.
- 4) pipa air yang menghubungkan drum bawah dengan header belakang.

7. Pembuangan Abu (Ash Hopper)

Abu yang terbawa gas panas dari ruang pembakaran pertama, terbangun/jatuh didalam pembuangan abu yang berbentuk kerucut.



Gambar 2.8 Ash hopper

8. Pembuangan Gas Bekas

Gas bekas setelah ruang pembakaran kedua dihisap oleh blower isap (induced draft fan) melalui saringan abu (dust collector) kemudian dibuang ke udara bebas melalui corong asap (chimney).

Pengaturan tekanan didalam dapur dilakukan pada corong keluar blower (exhaust) dengan klep yang diatur secara otomatis oleh alat hydrolis (furnace draft controller).



Gambar 2.9 Chimney

9. Pressure Furnace Draft Controller

Pressure Furnace Draft Controller berfungsi untuk pengatur tekanan permukaan.



Gambar 2.10 Pressure furnace draft controller

10. Induced Draft Fan

Induced Draft Fan berfungsi sebagai penghisap abu dari gas bekas.



Gambar 2.11 Induced draft fan

11. Dust Collector

Dust Collector berfungsi sebagai penyaring abu gas bekas.



Gambar 2.12 *Dust collector*

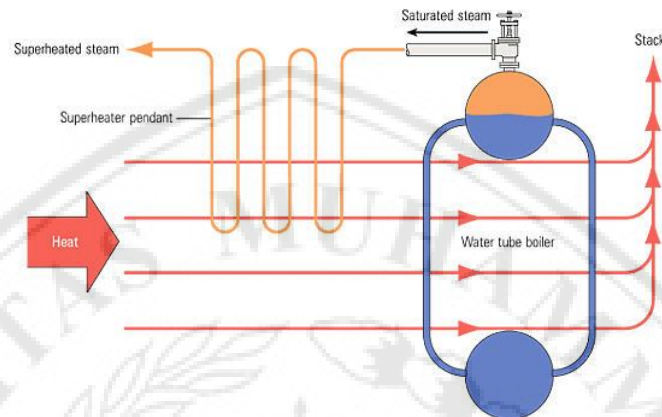
12. Pipa Waterwall

Pada ruang bakar ketel uap komponen yang paling penting adalah pipa waterwall, dimana panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar diserap waterwall, sehingga air yang terdapat pada pipa waterwall mengalami kenaikan temperatur sampai berubah menjadi uap. Tube Wall adalah merupakan pipa yang dirangkai membentuk dinding dan dipasang secara vertikal pada 4 (empat) sisi, sehingga membentuk ruangan persegi empat yang disebut ruang bakar. Fungsi tube wall adalah alat pemanas air dengan bidang yang luas sehingga mempercepat proses penguapan.

13. Superheater

Superheater adalah piranti penting pada unit pembangkit uap. Tujuannya adalah untuk meningkatkan temperatur uap jenuh tanpa menaikkan tekanannya. Biasanya piranti ini merupakan bagian integral dari ketel, dan ditempatkan di jalur gas asap

panas dari dapur. Pada dari gas asap ini digunakan untuk memberikan panas lanjut pada uap.



Gambar 2.13 Superheater.

14. Alat-Alat Pengaman

1) Katup Pengaman (Safety Valve)

Alat ini bekerja apabila tekanan kerja melebihi dari tekanan yang telah ditentukan sesuai dengan penyetelan klep pada alat ini.



Gambar 2.14 Safety valve

2) Gelas Penduga

Gelas penduga adalah alat untuk melihat tinggi air didalam drum atas guna memudahkan pengontrolan air dalam ketel selama operasi.



Gambar 2.15 Gelas penduga

3) Manometer

Manometer adalah alat pengukur tekanan uap didalam boiler yang dipasang satu buah untuk penunjuk tekanan uap basah (saturated) dan satu buah untuk tekanan uap kering (superheated).



Gambar 2.16 Manometer

4) Keran Uap Induk

Keran uap induk (main steam valve) berfungsi sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran uap boiler yang terpasang pada pipa uap induk.



Gambar 2.17 Keran uap induk

5) Panel Utama (Main Panel)

Panel Utama (Main Panel) berfungsi sebagai pengontrol atau alat pengaman semua alat-alat pada boiler.



Gambar 2.18 Panel utama (*main panel*)

2.2.3 Pengoperasian Boiler

Pada umumnya setiap mesin yang diproduksi oleh pabrik selalu dilengkapi dengan handbook/ buku petunjuk cara pemasangan, perawatan, dan pengoperasiannya. Secara garis besar pengoperasian boiler diantaranya:

1. Ketentuan Umum

Sebelum mengoperasikan boiler ada beberapa hal yang harus diperhatikan demi kelancaran dan keselamatan kerja, diantara:

- 1) Tekanan ketel uap maksimum yang diijinkan.
- 2) Tekanan uap yang diperlukan.
- 3) Kapasitas produksi uap maksimum.
- 4) Pemeriksaan visual pada bagian luar dan dalam.
- 5) Tangki air umpan (feed water tank) dalam keadaan penuh.
- 6) Pompa air umpan (feed water pump) dalam kondisi baik.
- 7) Seluruh peralatan pengaman boiler dalam kondisi baik.
- 8) Tinggi permukaan air boiler di dalam drum sesuai dengan batas yang ditentukan.
- 9) Dapur dalam keadaan bersih.
- 10) Bahan bakar cukup tersedia

2. Urutan Menghidupkan Boiler

- 1) Buka keran buangan udara (vent drain) pada drum superheater (bila menggunakan superheater).
- 2) Drain air pada gelas penduga.
- 3) Hidupkan pompa air umpan dan buka keran buangan air pada drum (blow down).
- 4) Kemudian keran tersebut ditutup dan ketinggian air diatur sampai batas yang ditentukan.
- 5) Hidupkan fuel modulating dan fuel feeder fan.

- 6) Hidupkan pendulum.
- 7) Hidupkan conveyor bahan bakar.
- 8) Isi bahan bakar dan hidupkan api.
- 9) Setelah api cukup besar hidupkan induced draft fan dengan posisi damper tertutup dan setelah putaran idf normal buka damper dan atur ampere idf sekitar 125 amp.
- 10) Hidupkan secondary fan.
- 11) Hidupkan forced draft fan dan dijaga agar tekanan udara dalam ruang bakar (10 – 30 mm hg).
- 12) Tutup valve buang udara pada drum superheater.
- 13) Pada tekanan 15 bar kerangan induk steam dapat dibuka secara perlahan-lahan.
- 14) Naikkan tekanan boiler sampai tekanan kerja (20 bar).
- 15) Lakukan blowdown secara kontinyu (sesuai dengan kondisi tds).
- 16) Pertahankan tekanan steam normal dengan pengaturan bahan bakar melalui pressure fd controller.
- 17) Lakukan soot blower setiap 3 jam sekali.
- 18) Lakukan penarikan kerak setiap 4 jam sekali.

3. Urutan Menghentikan Boiler

- 1) Turunkan tekanan dengan menutup sliding door bahan bakar.
- 2) Matikan fd fan.
- 3) Matikan secondary fan.

- 4) Buka pintu ruang bakar dan tarik abu keluar.
- 5) Pastikan turbin uap telah berhenti kemudian tutup kerangan induk steam.
- 6) Matikan id fan.
- 7) Turunkan tekanan dengan melakukan sirkulasi air.
- 8) Tutup keran uap pada deaerator dan feed tank.
- 9) Matikan deaerator pump dan feed water pump.

2.3 Proses Penguapan

Proses penguapan adalah proses yang terjadi saat molekul-molekul air berusaha melepaskan diri dari lingkungannya karena gaya tarik menarik antar molekul air dan berubah menjadi molekul uap yang kecepatan gerakannya melebihi kecepatan gerak molekul air semula. Molekul-molekul air berubah menjadi molekul uap atau disebut juga bahwa air tersebut sedang “mendidih”, karena permukaan air menjadi bergejolak. Temperatur air pada saat itu mencapai “temperature didih” yaitu T_d Kelvin. Dan bila api masih saja ditambah besarnya, ternyata bahwa temperatur mendidih T_d K tidak akan berubah atau tetap saja besarnya, selama tekanan yang ada di atasnya dipertahankan besarnya.

Uap yang dihasilkan dari proses pemanasan dapat dibagi menjadi 2 yaitu uap kenyang dan uap yang dipanaskan lanjut. Uap kenyang adalah uap yang dalam keadaan setimbang dengan air yang ada dibawahnya. Uap kenyang senantiasa mempunyai pasangan-pasangan harga antara tekanan (p) dengan temperatur mendidihnya (T_d). Bila tekanan dinaikan, temperatur mendidih akan naik, dan sebaliknya bila tekanan diturunkan, maka temperatur mendidih juga akan turun.

Sedangkan uap yang dipanaskan lanjut atau *superheated steam* adalah hasil dari pemanasan lebih lanjut dari uap kenyang dengan menjaga tekanan. Pemanasan ini menggunakan suhu yang jauh lebih tinggi daripada temperatur sebelumnya.

2.4 Perpindahan Panas pada Katel Uap

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara, yang berupa api (yang menyala) dan gas (yang tidak menyala) dipindahkan kepada air, uap ataupun udara, melalui bidang yang dipanaskan atau *heating surface*, pada suatu instalasi katel uap, dengan tiga cara :

1. Dengan cara pancaran atau radiasi.
 2. Dengan cara aliran atau konveksi.
 3. Dengan cara perambatan atau konduksi.
- a. Perpindahan Panas Secara Pancaran atau Radiasi

Radiasi terjadi pada setiap benda dimana suatu benda memancarkan gelombang elektromagnetik dengan flux radiasi yang ditentukan oleh temperatur benda tersebut (Hukum Stefan-Boltzman). Proses ini dikenal juga dengan radiasi termal. Hal yang membedakan adalah panjang gelombang elektromagnetik yang berbeda-beda. Radiasi termal adalah radiasi yang dipancarkan oleh zat padat, zat cair atau gas menurut temperturnya.

Banyaknya panas yang diterima secara pancaran atau Q_p

$$Q_p = C_z \cdot F \cdot [(T_{\text{api}} : 100)^4 - (T_{\text{benda}} : 100)^4] \text{ Kj/jam}$$

C_z Konstanta pancaran dari Stephen-Boltzman yang dinyatakan dalam $\text{Kj/m}^2 \text{ jam K}^4$ maka Q_p dinyatakan dalam Kj/jam . Bila C_z dinyatakan dalam $\text{Watt/m}^2 \text{ K}^4$ maka harga Q_p dinyatakan dalam Watt .

Adapun besarnya C_z antara lain ditentukan oleh :

1. Keadaan permukaan bidang yang dipanasi dalam keadaan kasar atau halus.
2. Bahan benda yang dipanasi antara lain besi, tembaga, aluminium, dll.
3. Warna bidang benda yang dipanasi antara lain hitam, putih, abu-abu
4. Dan lain-lain.

F = Luas bidang yang dipanasi, dalam m^2

T = Temperatur dalam kelvin

Untuk perhitungan-perhitungan praktis lebih lanjut dalam teknik ketel uap, besarnya harga konstanta Stephan-Boltzmann $C_z = 16,75 \text{ Kj/m}^2 \text{ jam K}^4 = 4,65 \text{ Watt/m}^2 \text{ K}^4$

b. Perpindahan Panas Secara Alami atau Konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan energi panas melalui pergerakan molekul-molekul fluida (cair dan gas) akibat adanya perbedaan temperatur. Besarnya konveksi bergantung pada: luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida

(A), perbedaan suhu antara permukaan benda dengan fluida (ΔT), dan koefisien konveksi (h).

Bila pergerakan molekul-molekul dari fluida tersebut disebabkan karena perbedaan temperatur, maka perpindahan panasnya disebut Konveksi Bebas (*free convection*) atau konveksi alamiah (*Natural Convection*). Bila pergerakan molekul-molekul tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis (karena dipompa atau dihembus dengan fan) maka perpindahan panasnya disebut konveksi paksa (*Forced Convection*). Dalam gerakannya molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding ketel atau bidang yang dipanasi.

Jumlah panas yang dikeluarkan secara Konveksi = Q_k

$$Q_k = \alpha \cdot F \cdot (T_{\text{api}} - T_{\text{dinding}}) \text{ Kj/jam}$$

α = Angka peralihan panas dari api ke dinding ketel dinyatakan dalam $\text{Kj/m}^2 \text{ jam K}$ atau $\text{Watt/m}^2 \text{ K}$

F = Luas bidang yang dipanasi dinyatakan dalam m^2

T = Temperatur dalam kelvin.

c. Perpindahan Panas Secara Perambatan atau Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dari satu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama, atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lainnya karena terjadinya persinggungan fisik tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri.

Di dalam dinding ketel tersebut, panas akan dirambatkan oleh molekul-molekul dinding ketel bagian luar yang berbatasan dengan api, menuju ke molekul-molekul dinding ketel bagian dalam yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara.

Perambatan panas melalui benda padat menempuh jarak yang terpendek.

Jumlah panas yang dirambatkan = Q_r melalui dinding ketel adalah sebesar :

$$Q_k = \frac{\delta}{s} \cdot F \cdot (T_{d1} - T_{d2}) \text{Kj/jam}$$

δ = Angka perubahan panas dalam dinding ketel dinyatakan dalam $\text{Kj/m}^2 \cdot \text{Jam} \cdot \text{K}$ atau $\text{Watt/m}^2 \cdot \text{K}$.

S = Tebal dinding ketel yang dinyatakan dalam meter

F = Luas dinding ketel merambatkan panas dinyatakan dalam m^2

T_{d1} = Temperatur dinding ketel yang merambatkan panas dinyatakan dalam m^2

T_{d2} = Temperatur dinding ketel yang berbatasan dengan air, uap atau udara